

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie

**Optimalizace procesních parametrů při obrábění přímého ozubení
zpátečkového kola na vstupních hřídelích**

**Process Parameters Optimization when Shaping of Direct gears on
Input Shafts**

Student:

Tomáš Špaček

Vedoucí bakalářské práce:

prof. Ing. Robert Čep, Ph.D.

Ostrava 2019

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

ŠPAČEK, T. *Optimalizace procesních parametrů při obrázení přímého ozubení zpátečkového kola na vstupních hřídelích: bakalářská práce*. Ostrava : VŠB-Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie, 2019, 40s. Vedoucí práce: prof. Ing. Robert Čep, Ph.D.

Bakalářská práce se zabývá optimalizací procesu odvalovacího obrázení zpátečkového kola na vstupních hřídelích, které probíhá na stroji od výrobce firmy Liebherr LS80. V úvodu je popsána teorie odvalovacího obrázení přímého vnějšího ozubení na vstupních hřídelích, válcové nástroje pro obrázení ozubení a strojní vybavení. Dále je zahrnut popis stávající technologie a problematiky na výrobní lince, kde probíhá obrábění před tepelným zpracováním vstupních hřídelí. Nejdůležitější část bakalářské práce se zabývá návrhem vhodné optimalizace výroby z hlediska strojních časů. Poté je popsáno zhodnocení technickoekonomického procesu z hlediska celkové úspory nákladu dané linky.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

ŠPAČEK, T. *Process Parameters Optimazation when Shaping of Direct Gears on Input Shafts: Bachelor Thesis*. Ostrava : VŠB-Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Machining and Assembly, 2019, 40 p. Thesis head: prof.Ing. Robert Čep, Ph.D.

The bachelor thesis deals with the optimization of the reversing gear shaping process on input shafts, which is carried out on a machine from the manufacturer Liebherr LS80. The introduction describes the theory of shaping spur gear of external gearing on input shafts, cylindrical tools for gear shaping and machine equipment. Further included is a description of the existing technology and problems on the production line where the machining occurs before the heat treatment the input shaft. The most important part of the thesis deals with the design of suitable optimization of production in terms of machine time. Then, the evaluation of the technical process described in terms of the overall cost savings for that line.

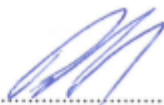
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

CNC	Computer Numeric Control (číslicové řízení počítačem)
DIN	Detsche Industrie-Norm
HMMC	Hyundai Motor Manufacturing Czech
LDP	Začátek zpětného zdvihu
UDP	Začátek pracovního zdvihu
CCP	Degresivní radiální přísuv [mm/min]
h_{sp}	Radiální přísuv za jednu otáčku obrobku
i_{sp}	Počet otáček obrobku do dokončení hrubování
t_h	Doba obrábění [s]
F_h	Hlavní řezná síla [N]
PVD	Fyzikální depozice z plynné fáze
F_r	Radiální házivost [μm]
eV	Energie dopadu částic kovů na substrát
B	Intenzita magnetického pole [T]
E	Vektor intenzity magnetického pole
l	Vzdálenost [m]
\bar{l}	Střední volná dráha molekul [m]
P	Tlak [Pa]
PACVD	Chemická depozice vrstev za asistence plazmatu
CVD	Chemická depozice z plynné fáze
CT	Doba jednoho cyklu stroje [s]
LSL	Dolní specifikační mez
USL	Horní specifikační mez
c_p	Index způsobilosti
c_{pk}	Index způsobilosti procesu
MDK	Rozměr přes kuličky [mm]
ZD30 BHT	Výrobní linka ozubených hřídelí před tepelným zpracováním

Prohlášení zástupce spolupracující právnické nebo fyzické osoby

„Souhlasím se zveřejněním této bakalářské práce dle požadavků čl. 26, odst. 9 Studijního a zkušebního řádu pro studium v bakalářských programech VŠB-TU Ostrava.“

V Nošovicích dne 20. května 2019




Podpis zástupce HMMC

Prohlašuji, že:

- jsem si vědom, že na tuto moji závěrečnou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. Zákon o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (dále jen Autorský zákon), zejména § 35 (Užití díla v rámci občanských či náboženských obřadů nebo v rámci úředních akcí pořádaných orgány veřejné správy, v rámci školních představení a užití díla školního) a § 60 (Školní dílo),
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo užít tuto závěrečnou bakalářskou práci nekomerčně ke své vnitřní potřebě (§ 35 odst. 3 Autorského zákona),
- bude-li požadováno, jeden výtisk této bakalářské práce bude uložen u vedoucího práce,
- s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 Autorského zákona,
- užít toto své dílo, nebo poskytnout licenci k jejímu využití, mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše),
- beru na vědomí, že - podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů - že tato bakalářská práce bude před obhajobou zveřejněna na pracovišti vedoucího práce, a v elektronické podobě uložena a po obhajobě zveřejněna v Ústřední knihovně VŠB-TUO, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 20. května 2019


.....
Podpis autora práce

Jméno a příjmení autora práce: Tomáš Špaček

Adresa trvalého pobytu autora práce: Brušperk, Družstevní 322, 739 44

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 20. května 2019



Podpis autora práce

Zadání bakalářské práce

Student: **Tomáš Špaček**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2303R002 Strojírenská technologie
Téma: **Optimalizace procesních parametrů při obrábění přímého ozubení
zpátečkového kola na vstupních hřídelích**
**Process Parameters Optimization when Shaping of Direct Gears on Input
Shafts**
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Úvod do problematiky.
2. Problematika obrábění ozubených kol.
3. Návrh optimalizace výroby vybraného představitele.
4. Technicko-ekonomické zhodnocení.
5. Závěr.

Seznam doporučené odborné literatury:


BRYCHTA, Josef; ČEP, Robert; NOVÁKOVÁ, Jana; PETŘKOVSKÁ, Lenka. *Technologie II – 1. díl*. Ostrava : Ediční středisko VŠB – TU Ostrava, 2007, 126 s. ISBN 978–80–248–1641–8.
BRYCHTA, Josef; ČEP, Robert; NOVÁKOVÁ, Jana; PETŘKOVSKÁ, Lenka. *Technologie II – 2. díl*. Ostrava : Ediční středisko VŠB – TU Ostrava, 2008, 150 s. ISBN 978–80–248–1822–1.
MRKVICA, M. *Přípravky a obráběcí nástroje: I. díl, Řezné nástroje*. Ostrava : Ediční středisko VŠB-Technická univerzita Ostrava. 2006. ISBN 80–7078–941–7.
NESLUŠAN, Miroslav; TUREK, Stanislav; BRYCHTA, Josef; ČEP, Robert; TABAČEK, Marián. *Experimentálne metódy v trieskovom obrábaní*. Žilina : EDIS Žilina, 2007. 343 s. ISBN 978–80–8070–711–8.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **prof. Ing. Robert Čep, Ph.D.**

Datum zadání: 21.12.2018

Datum odevzdání: 20.05.2019


doc. Ing. et Ing. Mgr. Jana Petřů, Ph.D.
vedoucí katedry




prof. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Obsah

1. Úvod.....	10
2. Problematika obrábění ozubených kol	11
2.1. Teorie obrážení kotoučovým nožem	11
2.2. Princip metody	11
2.3. Faktory vhodného záběru	13
2.4. Spirální najíždění s degresivním radiálním přísuvem (CCP).....	14
2. 5. Konstrukce strojů	16
2.5.1 Konvekční konstrukce obrážecího stroje LS.....	16
2.5.2 Konstrukce s lineárním vedením obrážecí hlavy LS F	17
2. 5.3 Konstrukce s elektronickým spirálovým vedením LS E.....	18
2.6. Nástroje pro odvalovací obrážení.....	19
2.7. Fyzikální princip PVD povlaků pro obrážecí nástroje.....	21
2.7.1. Vakuové napařování (Evaporation)	22
2.7.2. Vakuové napařování (Sputtering)	23
2.7.3. Iontové plátování.....	25
3. Návrh optimalizace výroby vybraného představitele.....	25
3.1. Popis systému SNOF stroje LS80	26
3.1.1 Stroj	26
3.1.2 Nástroj	26
3.1.3 obrobek.....	27
3.1.4 Přípravek	27
3.2. Analýza výroby vstupních hřídelí na lince ZD30BHT	28
3.3. Optimalizace z hlediska Dokoupení obrážecího stroje	29
3.4. Optimalizace z hlediska navýšení výroby.....	31
3.5. Optimalizace obrážecího stroje LS80 z hledisky produktivity stroje	31
4. Technicko ekonomické zhodnocení	34
4.1. Technické zhodnocení.....	34

4.2. Ekonomické zhodnocení	37
5. Závěr	38
6. Použitá literatura	39

1. ÚVOD

Výroba ozubených kol metodou odvalovacího obrázení byla založena na simulaci záběru dvou ozubených kol. Zakladatelem výroby obrázení ozubených kol byl Edwin r. Fellows. Tento americký podnikatel a vynálezce pocházel z Torringtonu v Connecticutu. V roce 1896 navrhl a postavil nový typ obrážecího stroje a to ve spolupráci s Jamesem Hartnessamem. Spolu založili společnost Fellows Gear Shaper Company ve Springfieldu ve Vermontu, která se stala jednou z vedoucích firem v segmentu obráběcích strojů. Stroje Fellows významně přispěly k hromadné výrobě účinných a spolehlivých převodovek pro začínající automobilový průmysl. Do konce druhé světové války byly tyto stroje využívány zejména pro dodavatelské závody podporující vojenský průmysl. Vyráběly se zde součástky pro letecké motory, tanky a další válečný materiál.

V současné době má výroba ozubených kol z hlediska industrializace a automobilizace nesmírný hospodářský význam. Z ročního počtu vyrobených automobilů lze snadno odhadnou počty vyrobených kol používaných v automobilovém průmyslu. Z tohoto důvodu je kladen velký důraz na efektivitu výroby a co nejnižší provozní náklady. Jako základní parametr, na který se bere z hlediska výroby ozubených kol největší důraz, je náklad na vyrobený kus. Tento parametr dokáže zahrnout počáteční investice na výrobní stroje, náklady na obsluhu, energie, nástroje, údržbu, atd.. S tímto parametrem nejenom počítají všechny nadnárodní automobilové společnosti, ale i výrobci obráběcích strojů a nástrojů.

Mnohé analýzy ukazují, že trend výroby ozubených kol se v automobilovém průmyslu v následujících deseti letech nebude příliš měnit. Velkým konkurentem spalovacích a zážehových motorů je elektrifikace automobilového průmyslu. Ta však v současné době z hlediska infrastruktury a velkých pořizovacích nákladů nedokáže konkurovat standartní výrobě automobilů. Z tohoto důvodu, jsou celkové počty vyráběných elektromobilů v řádech desetiný procent z celkové světové výroby automobilů.

Bakalářská práce je zaměřená na výrobu ozubených kol ve společnosti Hyundai Motor Manufacturing Czech, s.r.o., která je jedním z předních světových výrobců automobilů. Výrobní závod má roční kapacitu 320 000 osobních automobilů a 500 000 manuálních převodovek, které jsou vyráběny jako komponenty pro spalovací a zážehové motory. Tato práce bude zaměřena na technologii výroby přímého ozubení na vstupních hřídelích pomocí odvalovacího obrázení. Tomuto typu obrábění je v současné době velkým konkurentem tzv. POWER SKIVING, který kombinuje dvě metody obrábění. A to klasické odvalovací frézování a odvalovací obrázení. Z hlediska produktivity a nákladů na vyrobený kus nemůže klasické odvalovací obrázení této nové technologii nijak konkurovat, ale z hlediska konstrukce vstupních hřídelí automobilů není možné použít jinou technologii výroby, než je odvalovací obrázení. Proto se v této bakalářské práci budu zabývat pouze optimalizací odvalovacího obrázení.

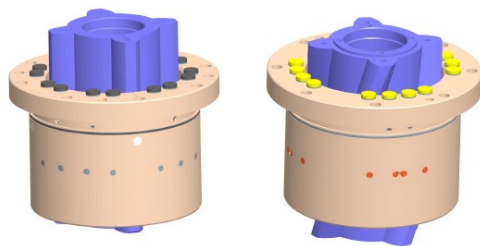
2. PROBLEMATIKA OBRÁBĚNÍ OZUBENÝCH KOL

2.1. TEORIE OBRÁŽENÍ KOTOUČOVÝM NOŽEM

Profilové (tvarové) a odvalovací obrážení se považuje za jednu z nejuniverzálnějších metod pro výrobu ozubení a profilů nejrůznějších tvarů. Z hlediska technologie výroby je nezastupitelnou metodou pro výrobu ozubení tradičních tvarů. Nejčastěji je však tato metoda využívána pro výrobu ozubení, kde by z hlediska výroby nebylo možné použít jinou metodu obrábění např. výroba vnitřního ozubení, ale i pro zvláštní použití u nekruhových součástí. Dále se tato metoda využívá pro výrobu ozubení na osazených hřídelích a ozubených kolech, kde by z hlediska konstrukčního řešení obrobku nebylo možno vyrobit ozubení jinou metodou, než obrážení kotoučovým nožem, protože by došlo ke kolizi nástroje a osazení, které je vytvořeno na obrobku v blízkosti ozubení. Jako příklad mohu uvést obrážení ozubených hřídelí, kde při použití např. daleko produktivnějšího způsobu výroby, a to odvalovací frézování, není dostatek místa pro výjezd nástroje z ozubení. I když produktivita této metody není srovnatelná s jinými metodami obrábění (Power skiving, Odvalovací frézování), existuje mnoho inovací, jejichž cílem je podstatně zlepšit hospodárnost a kvalitu této metody. Jedná se zejména o vysokorychlostní obrážení, které je závislé na konstrukci stroje z hlediska tuhosti a tlumení kmitů, které vznikají vysokorychlostním kmitavým pohybem obrážecího vřetene. Vysoko rychlostní obrážení začíná na 2000 zdvihů/min minutu a řezné rychlosti vyšší než 150 m/min, ale současné stroje dosahují i stabilních výsledků i při hodnotách nad 3000 zdvihů/min.

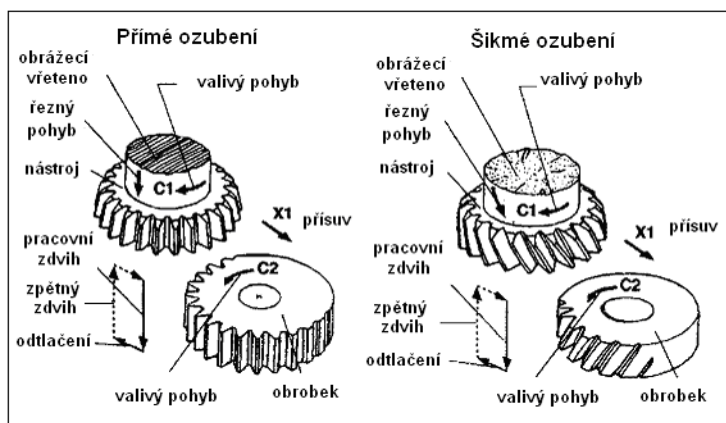
2.2. PRINCIP METODY

Hlavní řezný pohyb je při obrážení kotoučovým nožem realizován pomocí lineární oscilace nástroje. Materiál je obráběn pouze při tzv. pracovním zdvihu nástroje, zatímco zpětný zdvih je realizovaný tak, aby nedocházelo ke kontaktu nástroje s obrobkem a to z důvodu, že by docházelo ke značnému opotřebení nástroje a radikální snížení životnosti. Obrážecí pohyb nástroje je charakterizovaný rotačním a radiálním posuvem, kde za pomoci synchronizace otáček vřetene obrobku a nástroje (obrážecího vřetene) dochází k současnému valivému pohybu obrobku a nástroje. Synchronizace otáček je realizována u starších strojů nejčastěji mechanicky a u novějších moderních strojů, určené pro vysokorychlostní obrážení, je realizovaná elektronicky. Toto je zajištěno modernizací řídicích systému CNC obráběcích strojů.



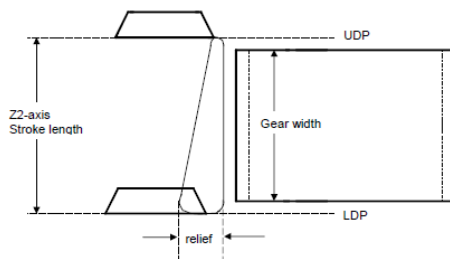
Obr. 2.2-1 Princip mechanického vedení pro výrobu přímého a šikmého ozubení [6]

Podobným principem lze realizovat i výrobu přímého nebo šikmého ozubení, a to buď vlastním pevným mechanickým, nebo proměnlivým elektronickým vedením. Kvalita výroby je ovlivněná, vedle geometrie nástroje, především synchronizací rychlostního poměru shora jmenovaných pohybů stroje.



Obr. 2.2-2 Princip odvalovacího obrážení ozubení s přímými a šikmými zuby [9]

Obr. 2.2-2 Zobrazuje hlavní řezné pohyby nástroje a obrobku. Následným důležitým pohybem řezného nástroje je tzv. odtlačení (odskok), který je realizován pomocí excentrické vačkové hřídele a pouzdra, která je samostatnou osou obrážecího stroje. Půl otáčky vačkové hřídele odpovídá jednomu zdvihu obrážecího vřetene. Realizace odtlačení obrážecího vřetene začíná na začátku zpětného zdvihu v LDP a končí na začátku zdvihu pracovního v UDP. Skutečný pohyb je zobrazen na **Obr. 2.2-3**, kde je tzv. odtlačení ovlivněno tvarem vačkové hřídele u stroje od výrobce Liebherr LS80.



Obr. 2.2-3 Princip jednoho zdvihu obrážecího nástroje u stroje Liebherr LS80 [10]

2.3. FAKTORY VHODNÉHO ZÁBĚRU

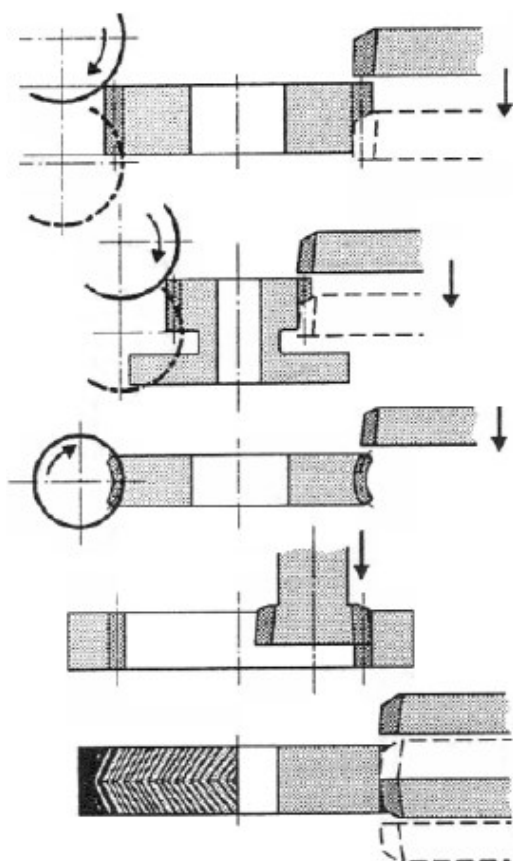
U navrhování procesu odvalovacího obrázení je důležité, aby nedošlo k volbě nevhodně zvolených řezných podmínek, které mají vliv na geometrický poměr mezi obrobkem a nástrojem a tím dochází k porušení procesu. Tyto nevhodné parametry mohou zapříčinit nedostatečnou kvalitu ozubení nebo nadměrné opotřebení nástroje.

Při porovnání odvalovacího obrázení s jinými metodami obrábění, je značnou výhodou malý výběh nástroje. Ozubení proto může být ohraničeno zápichem nebo nákrůžkem. Výběh nástroje se udává z potřebného přejezdu při změně směru zdvihového pohybu a geometrie čela nástroje.

Porovnání vhodnosti metody pro různé konstrukční řešení obrobku při způsobu výroby odvalovacím obrázením a odvalovacím frézováním je uvedeno na **Obr. 2.3-1**, kde je v levé části použita metoda odvalovacího frézování a v pravé části metoda obrázení.

FRÉZOVÁNÍ

OBŘÁŽENÍ

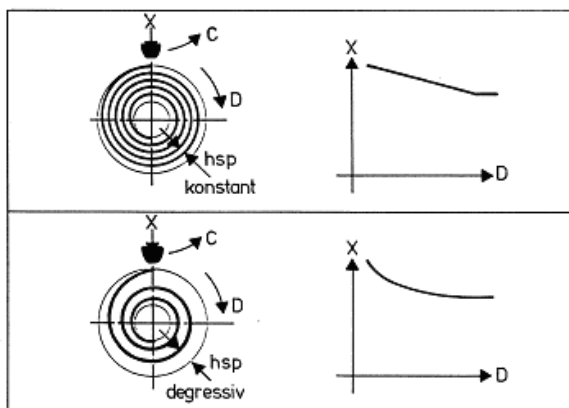


Vnější Ozubení (Možno použít obě metody)
Vnější Ozubení s osazením (Možno použít pouze metodu obrázení)
Šneková kola (Možno použít pouze metodu frézování)
Vnitřní Ozubení (Možno použít pouze metodu obrázení)
Ozubení se šípovými zuby (Možno použít pouze metodu obrázení)

Obr. 2.3-1 Porovnání vhodnosti metody pro různé konstrukční řešení obrobku [6]

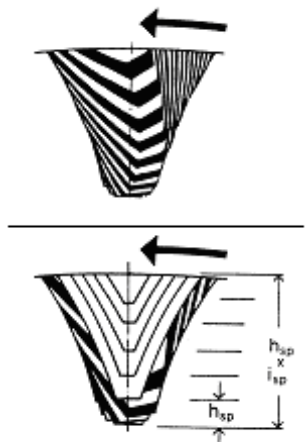
2.4. SPIRÁLNÍ NAJÍŽDĚNÍ S DEGRESIVNÍM RADIÁLNÍM PŘÍSUVEM (CCP)

Při spirálním najíždění nástroje s degresivním radiálním přísvem (Controlled Cutting Process – CCP) se rychlost radiálního přísvu postupně zmenšuje, přičemž objem odebírané třísky zůstává během procesu obrábění přibližně konstantní. Na rozdíl od spirálního najíždění s konstantním radiálním přísvem, kdy se v závislosti na rostoucí hloubce zubové mezery zvětšuje i objem odebrané třísky a plynule tak roste zatížení stroje a nástroje, až do dosažení požadované hloubky zubové mezery, je výsledkem procesu CCP obrábění s konstantní řeznou silou a neměnným napružením celého kinematického řetězce. To vede k lepšímu využití nástrojů a k zvýšení kvality povrchu obráběného ozubení [11].



Obr. 2.4-1 Spirálové najíždění s konstantním a degresivním radiálním přísvem [7]

Postupem CCP lze několika málo obrážecími zdvihy docílit vytvoření zubové mezery, přičemž průřezy třísek budou nejen větší, ale především symetrické mezi nabíhajícími a vybíhajícími boky zubů. Porovnání konvenčního způsobu obrábění s postupem CCP je na **obr. 2.4-2**. Postupem CCP lze geometrickým parametrům obrobků a nástrojů přizpůsobit velmi vysoké kruhové posuvy a jím odpovídající radiální přísuvy. Následné obrábění na čisto s maximálními kruhovými posuvy a řeznými rychlostmi až $130 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ vede k velmi krátkým dokončovacím časům a tím i ke zkrácení celkového času obrábění [12].

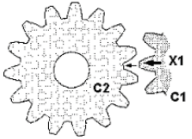

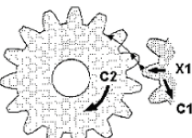
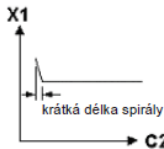
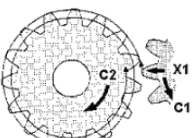
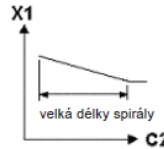
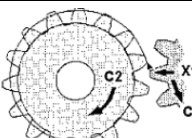
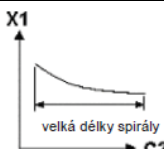


Obr. 2.4-2 Konvenční způsob obrábění (průřezy třísek jsou mezi nabíhajícími a vybíhajícími boky zubů rozloženy nerovnoměrně) [12]

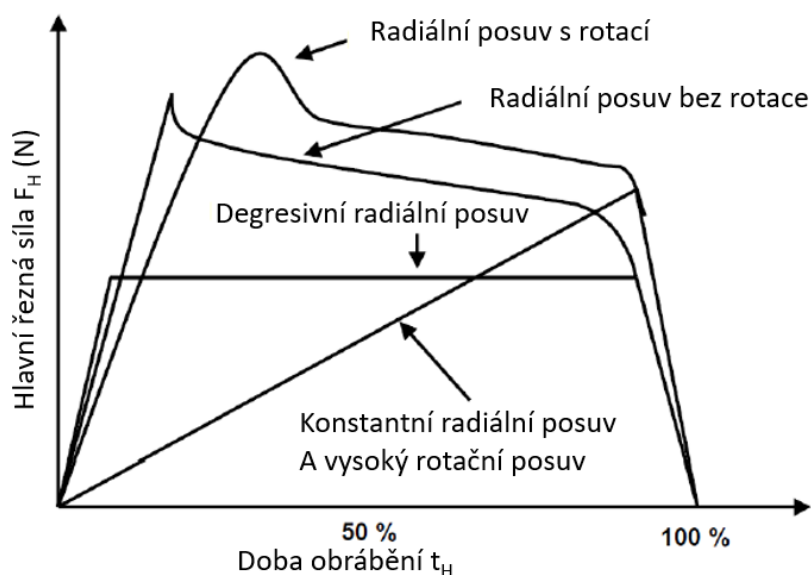
Postup spirálního najíždění s degresivním radiálním přísvem (průřezy třísek jsou mezi nabíhajícími a vybíhajícími boky zubů rozloženy symetricky) [12]

h_{sp} ... radiální přísvuv za 1 otáčku obrobku
 i_{sp} ... počet otáček obrobku do dokončení hrubování

V porovnání s ostatními strategiemi posuvové rychlosti **Tab. 2.4-1** lze konstatovat, že spirálové najíždění s degresivním přísvem je nejvhodnější strategií z hlediska doby cyklu a opotřebení nástroje **Obr. 2.4-3**.

Strategie posuvové rychlosti	princip	Poměr přísvu a rotačního pohybu obrobku
Radiální posuv bez rotace		 žádná délka spirály
Radiální posuv s rotací		 krátká délka spirály
konstantním radiálním posuv		 velká délky spirály
Degresivní radiální posuv		 velká délky spirály

Tab. 2.4-1 Strategie posuvové rychlosti při obrábění ozubeného kola [8]



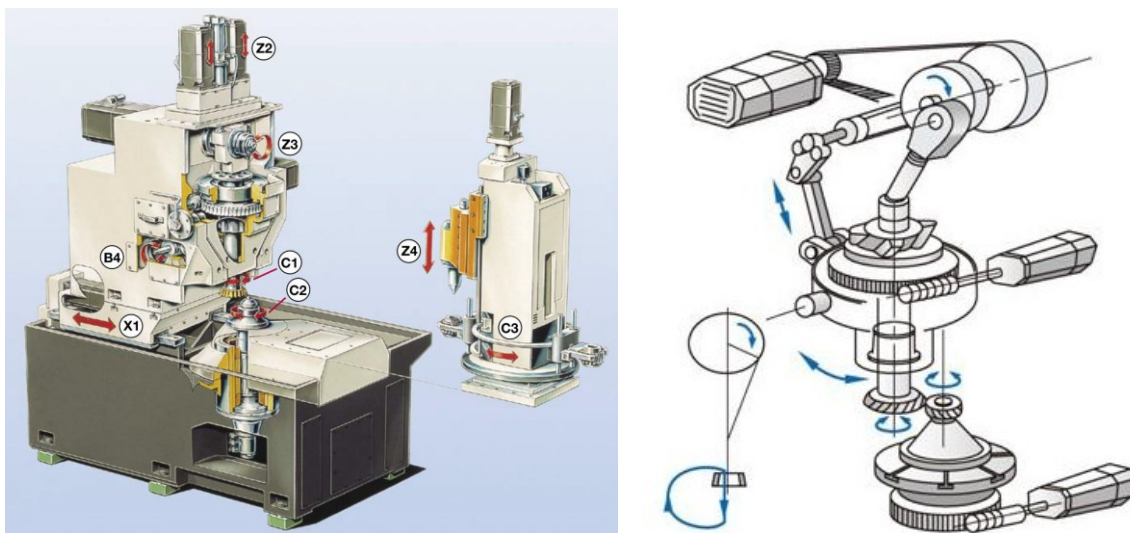
Obr. 2.4-3 Vliv hlavní zatěžovací síly na dobu cyklu [6]

2. 5. KONSTRUKCE STROJŮ

Současné konstrukční řešení obrážecích strojů je znázorněno na obrázku **Obr. 2.5-1, 2.5-2 a 2.5-3**. Konstrukce jsou charakteristické z hlediska umístění lože stroje a radiálně přestavitelného stojanu, dále mohou obsahovat elektronické spirálové vedení pro modifikaci tvaru zubů, které zaručují lepší flexibilitu a lze je použít pro menší zakázky.

2.5.1 KONVEKČNÍ KONSTRUKCE OBRÁŽECÍHO STROJE LS

Konvekční konstrukce bez saní obrážecí hlavy, je aplikována pro nasazení v hromadné výrobě a je zobrazen na **Obr. 2.5-1**. Výkon a flexibilita těchto strojů jsou optimalizovány pro vysoké výrobní požadavky. Stroje jsou založeny na společné modulární platformě s osvědčenými komponenty z plošiny odvalovacího stroje. Zvláště pozoruhodné jsou přímé stolové pohony s termosymetrickou kapalinou cirkulující ložem stroje, které umožňují až 3000 zdvihů / min. Pro kuželové převody mohou být všechny modely vybaveny sloupem otočného typu, a to až do natočení 12°. Pro proces suchého obrábění je hlavním předpokladem účinné a rychlé dělení třísek. Procesní energie a likvidace horkých třísek by neměly mít nepříznivý vliv na geometrii stroje. Přepracovaný pracovní prostor s obložením z nerezové oceli zlepšuje odvod třísek. Extrémně krátké doby řezu vyžadují krátké doby nakládání a vykládání. Modulové automatizační systémy jsou k dispozici pro různé typy obrobků, doplněné integrovanými a periferními systémy pro skladování obrobků. [13]



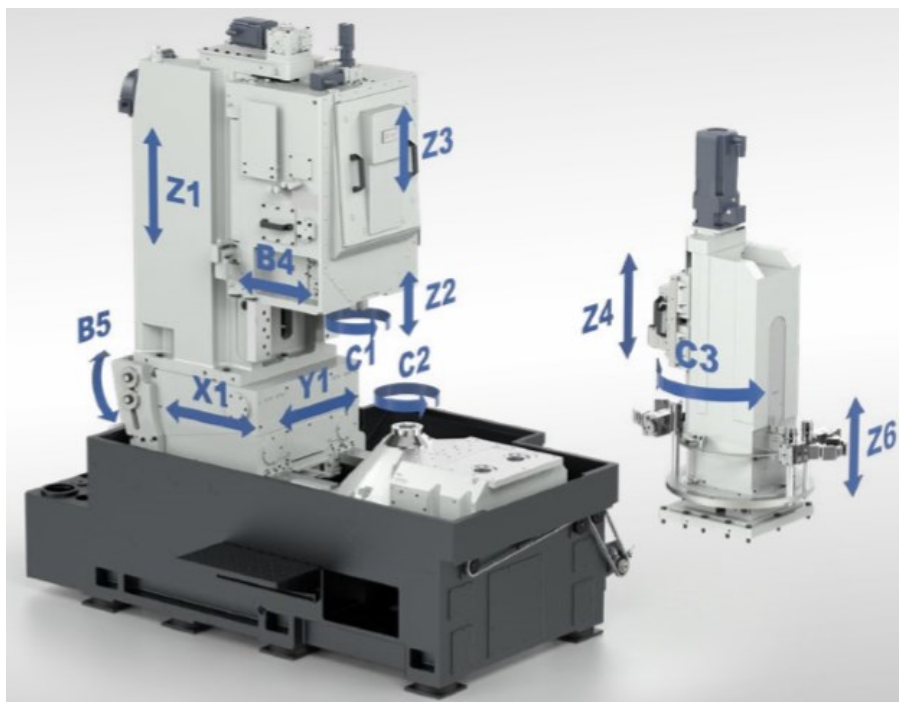
Obr. 2.5-1 Konstrukce obrážecího stroje bez saní obrážecí hlavy [13]

Strojní lože je bráno jako technologická platforma. Výkon obrábění a kvalita ozubení vyžadují vysoké nároky na mechanickou a tepelnou stabilitu stroje. Strojní lože slouží jako platforma pro různé technologie převodovek. Díky symetrickému provedení, velkým tloušťkám stěn a vnitřním prostorům s kolující chladicí kapalinou, splňuje lože stroje tyto požadavky. [13]

2.5.2 KONSTRUKCE S LINEÁRNÍM VEDENÍM OBRÁŽECÍ HLAVY LS F

Na **Obr. 2.5-2** je uvedena konstrukce stroje vhodnější pro použití s vyššími nároky na flexibilitu a stroj je opatřen lineárním vedením obrážecí hlavy. Druhá varianta získává svou flexibilitu z hlediska regulace polohy zdvihu a délky zdvihu. Zato u konvekčního stroje je možnost tyto regulace realizovat pouze jedním prodloužením nebo posunutím zdvihacího vřetene v pracovním prostoru. Z tohoto důvodu se maximální hodnoty nastavení polohy a délky zdvihu omezují. Z hlediska produktivity LS F je mimořádně kompaktní sériový výrobní stroj. Integrovaná automatizace umožňuje velmi rychlé založení obrobků o průměru 180 mm a maximální hmotnosti 15 kg. Sériové výrobní cykly jsou zpracovávány velmi ekonomicky pomocí interní automatizace ve formě kruhového zavaděče. Dodatečná vysoká produktivita je zajištěna nově vyvinutou šikmou hlavou Liebherr. Obrážecí hlava zaujme vysokým výkonem a tuhostí. Vysoký výkon pohonu umožňuje dosáhnout až 3 000 zdvihů/min a poskytuje vynikající produktivitu při výrobě ozubených kol. [14]

Konstrukční provedení axiálně posuvné obrážecí hlavy umožňuje uživatelům obrábění více ozubení na jedno upnutí. Posuvná obrážecí hlava se šoupátkem značně minimalizuje přenastavování stroje, což přispívá ke zvyšování přidané hodnoty. Na LS 180 F lze snadno vyrobit čelní a šikmá ozubená kola.

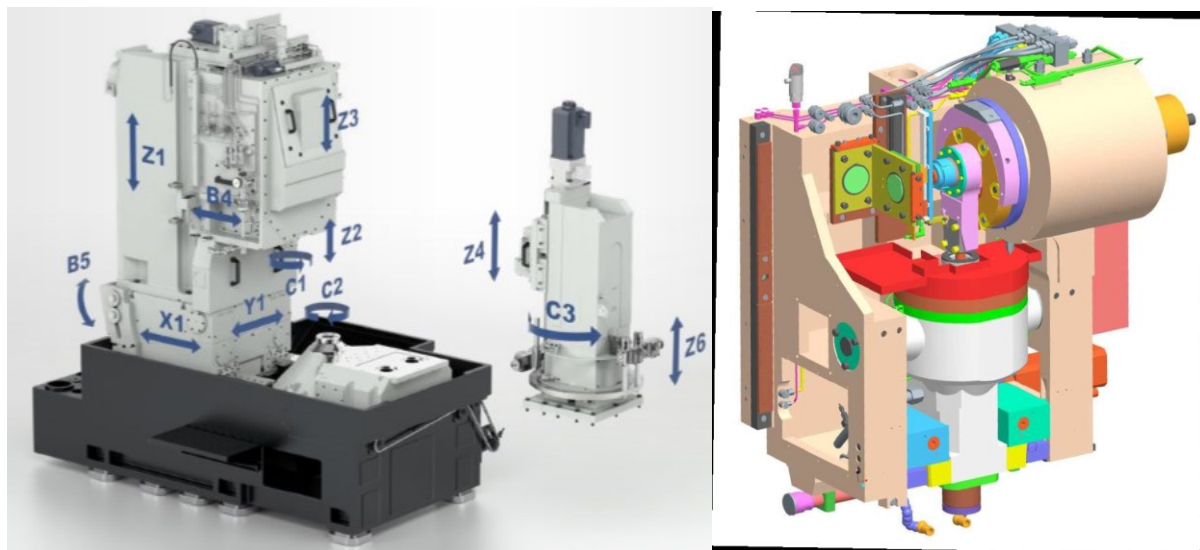


Obr. 2.5-2 Konstrukce obrážecí hlavy se saněmi obrážecí hlavy [14]

Přednosti LS F:

- Automatické přepínání z vnitřního na vnější převodový stupeň (dvoukanálový vačkový systém)
- SGA - tvarování ozubených kol se zkříženými osami
- 3000 dvojitých zdvihů za minutu (v závislosti na délce zdvihu)
- Metoda SSM (kyvadlový zdvih)
- Hydrostaticky vedené řezné vřeteno


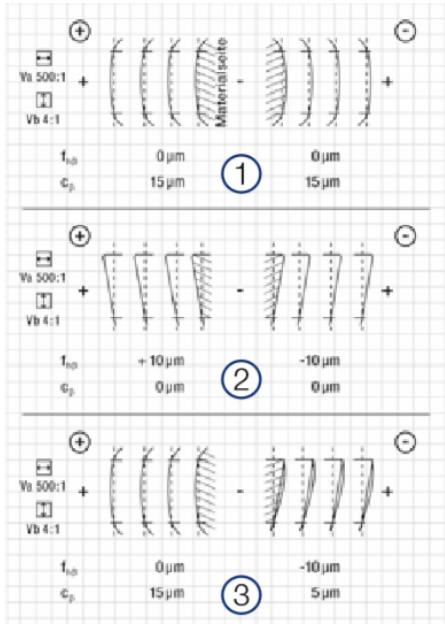


2. 5.3 KONSTRUKCE S ELEKTRONICKÝM SPIRÁLOVÝM VEDENÍM LS E



Obr. 2.5-3 Konstrukce obrážecího stroje s elektronickým spirálovým vedením LS E [15]

Na obrázku **Obr. 2.5-3** je uvedena konstrukce s elektronickým spirálovým vedením LS E a s největší flexibilitou pro různé obrobky. Obráběcí stroje Liebherr jsou optimalizovány tak, aby splňovaly všechny požadavky na univerzální použitelnost. Stroj je konstruován s axiálně posuvným sklíčkem hlavy obrážecího kotouče, který umožňuje vyrábět širokou škálu dílů s minimálními časy nastavení. Variabilní poloha obrábění zároveň umožňuje obrábění více ozubených kol v jednom upínacím přípravku. Díky přídavné kombinaci s elektronickým spirálovým vedením poskytuje LS E maximální flexibilitu a špičkovou produktivitu. Elektronické vedení spirály usnadňuje použití řídicího systému pro nastavení a provádění korekcí sklonu zubů, korekcí úhlu nebo přídavků před následným kalením. Koncept stroje je vhodná pro obrábění za mokra, tak i pro suché obrábění. Koncept interního podavače je vhodný pro hospodárnou a efektivní výrobu. To může být použito pro nakládání a vykládání obrobků ve velmi krátkém časovém intervalu. Pro externí automatizaci nabízí společnost Liebherr různé systémy, jako je například řetězový dopravník z plastu nebo řetězová skříň namontovaná přímo na stroji. [15]

Příklad modifikace tvaru ozubení na stroji LS E:

<p>① Symetrický crowning (symetrické zaoblení zubů)</p>		 <p>Diagram 1: Symetrický crowning. Parameters: $f_{\alpha 0} = 0 \mu\text{m}$, $c_p = 15 \mu\text{m}$.</p> <p>Diagram 2: Symmetrický sklon zubů. Parameters: $f_{\alpha 0} = +10 \mu\text{m}$, $c_p = 0 \mu\text{m}$.</p> <p>Diagram 3: Asymetrický crowning a úhel sklonu zubů. Parameters: $f_{\alpha 0} = 0 \mu\text{m}$, $c_p = 15 \mu\text{m}$.</p>
<p>② Symmetrický sklon zubů</p>		
<p>③ Asymetrický crowning a úhel sklonu zubů</p>		

Obr. 2.5-4 Možné úpravy stop zubů na stroji LS E [15]

2.6. NÁSTROJE PRO ODVALOVACÍ OBRÁŽENÍ

Pro dosažení požadované kvality při odvalovacím obrázení má primární vliv nástroj. Jako primární parametry lze považovat nejenom správná volba řezné geometrie nástroje, ale i kvalita upnutí z hlediska tuhosti a správného pozičního upnutí v obrážecím vřetení. Vysoká radiální a axiální házivost má negativní vliv nejenom na životnost nástroje, ale také na výslednou kvalitu ozubení. Prakticky všechny nástroje jsou opatřeny novými povlaky, které mnohonásobně prodlužují jejich životnost. V současnosti jsou nejčastěji používány několikavrstvé povlaky AlCrN, které jsou nanášeny metodou PVD. Konkurentem této technologie je nově vyvinutý povlak od společnosti SHM, která je založena na iontovém odpařování rotační elektrody s Borem AlCr(B)N, co zaručuje rovnoměrnější vrstvu povlaku, a výsledky vykazují nižší ořetuvzdornost, než u povlaků AlCrN.

Na **Obr. 2.6-1** jsou uvedeny nejčastější typy přestřovaných odvalovacích kotoučových nožů a použití podle konstrukční technologie obrobku. Jejich tvar je závislý nejenom na konstrukční technologii obrobku, ale také na co možné největší životnosti nástroje, co výrazně snižuje náklady na vyrobený kus.

**Kotoučový obrážecí
nůž**



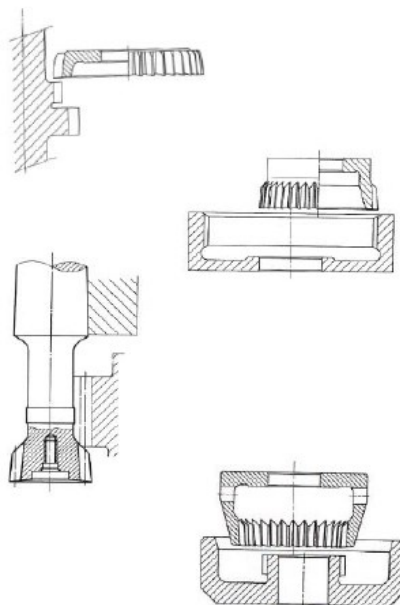
**Miskový obrážecí
nůž**



**Stopkový obrážecí
nůž**



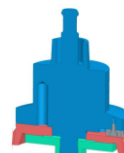
**Vnitřní miskový
obrážecí nůž**



***Obr. 2.6-1** Vhodné kotoučové obrážecí nože pro přestření [6]*

Pro různé typy přestřovaných kotoučových nožů jsou navrženy i různé typy upínacích přípravků **Obr. 2.6-2**. Které zaručují nejenom dostatečnou tuhost upnutí nástroje, ale i možnost dodatečného středění nástroje.

**Pro kotoučový obrážecí nůž
s mechanickou maticí**



**Pro miskový obrážecí nůž s mechanickou
maticí**



**Pro stopkový obrážecí nůž s možností
nastavení radiálního házení**

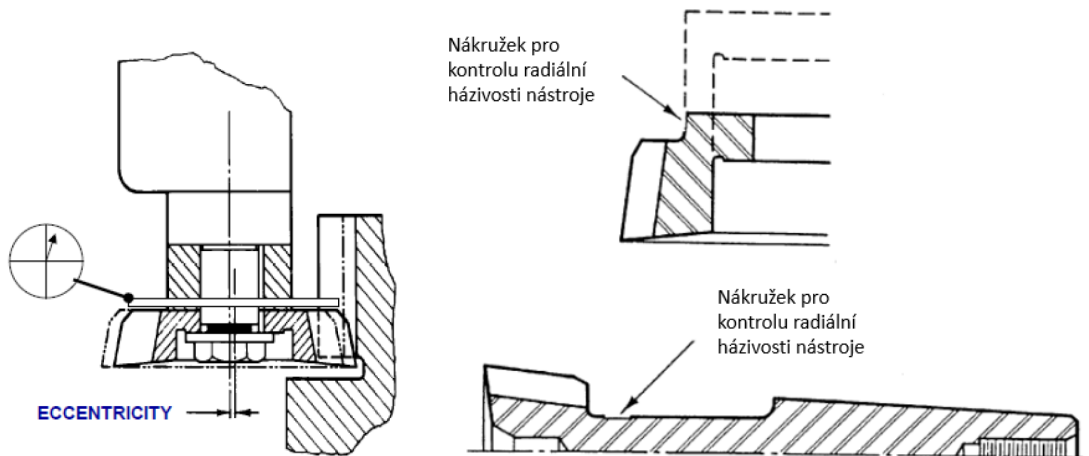


**Pro kotoučový obrážecí nůž
s hydraulickou maticí**



Obr. 2.6-2 Vhodné držáky pro obrážecí nástroje [6]

Nástroje s nejvyšší kvalitou AA, by měly být opatřeny nákrůžkem pro kontrolu obvodového házení. **Obr. 2.6-3.** Pro dosažení dostatečné kvality, by neměla hodnota radiální házivosti přesahovat hodnotu 0,004mm. U nástrojů s nejvyšší kvalitou se měření provádí na nákrůžku držáku nástroje. Pokud neexistuje žádný zvláštní předpis pro nástroj, činí velikost úhlu čela 5°. Obrážecí nože s přímými zuby jsou ostřeny na čele jako plocha kuželová, u šikmých zubů se jedná o čela stupňovitá. [7]



Obr. 2.6-3 Kontrola radiálního házení u obrážecích nástrojů [6]

2.7. FYZIKÁLNÍ PRINCIP PVD POVLAČŮ PRO OBRÁŽECÍ NÁSTROJE

Princip fyzikálního nanášení PVD povlaků je založen na metodě nanášení povlaků ve vakuu PVD (Physical Vapor Deposition) jedná se o převedení pevného kovu (např. titanu) do plynného stavu a následná kondenzace na povlakovaném substrátu. Podle druhu nanášeného materiálu, který se odpařuje z plynného stavu, dělíme metody PVD povlakování na vakuové napařování, naprašování a iontové plátování. Tyto metody jsou charakteristické nízkými pracovními teplotami. Metody jsou vhodné zejména pro povlakování nástrojů z rychlořezných ocelí, kde při této metodě nedochází k tepelnému ovlivnění nástroje. Dříve se tyto metody nepříliš využívaly pro povlakování slinutých karbidů, ale v současné době nastal velký rozvoj metod PVD povlakování a došlo k značnému rozšíření aplikací i v oblasti SK. Fyzikální proces probíhá ve středním a vysokém vakuu.

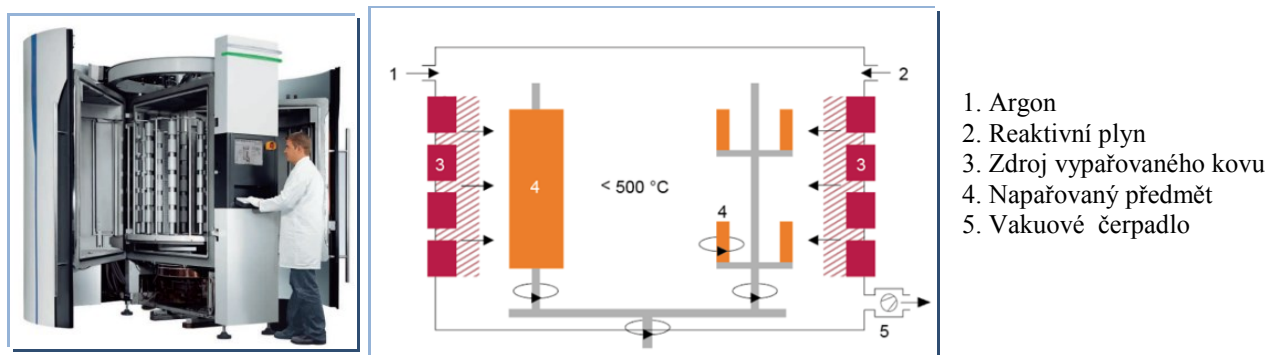
Tato metoda nese i značné nevýhody z technologického hlediska povlakování, mezi něž patří relativně složitý vakuový systém s požadavky na rotační pohyb tak, aby bylo zaručeno rovnoměrné ukládání povlaku, po celém povrchu povlakované součásti. Tento požadavek souvisí s tzv. stínovým efektem, který u této metody způsobuje, že na plochách, které neleží ve směru odpařovaných částic, se vytváří nerovnoměrná vrstva povlaku nebo se povlak netvoří vůbec.

Jedna ze značných výhod PVD povlakování, je možnost povlakovat i ostré hrany, kde břit s poloměrem zaoblení může být menší než 20 μ m.

2.7.1. VAKUOVÉ NAPAŘOVÁNÍ (EVAPORATION)

Vakuové napařování se dělí na metody:

- Klasickým elektrickým obloukem
- Nízkonapětovým elektrickým obloukem
- Svazkem elektronů
- Laserem



Obr. 2.7-1 Princip vakuového napařování [17]

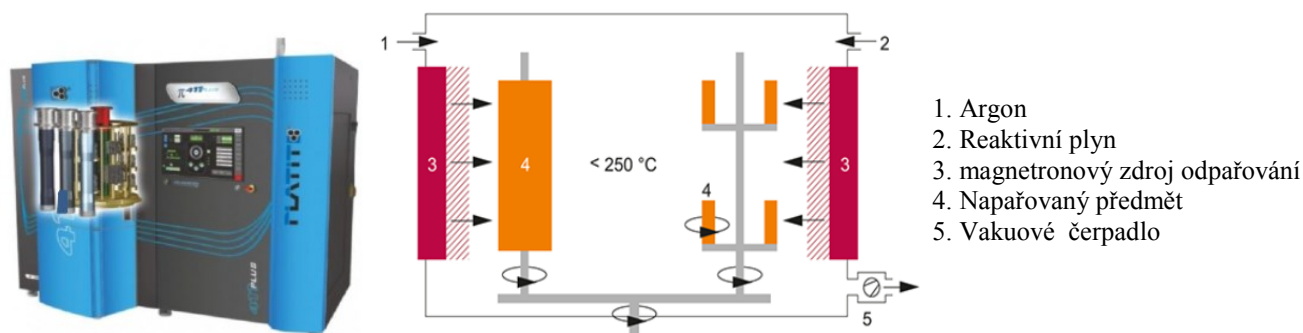
Princip vakuového napařování je zobrazen na obrázku **Obr. 2.7-1**, kde k napařování vrstev dochází při tlaku nižším než 10^{-2} Pa a to z důvodu, aby nedocházelo k reakci odpařené látky se zbytkem vzduchu. Princip je založen na odpařování materiálu při jeho ohřevu ve vakuu a následné kondenzaci par odpařovaného materiálu na substrátu. Tomu ději se říká, že se jedná o proces nanášení neutrálních částic. Rychlost tvorby vrstvy je závislá na rychlosti odpařování, tzn. teplotě ohřevu odpařovaného materiálu. Přivede-li se současně do vakuové komory reaktivní plyn (např. dusík), tak můžeme hovořit o reaktivním napařování. Tím dochází k reakci mezi atomy kovů a reaktivním plynem za vzniku chemické sloučeniny, která se usazuje na upravovaném povrchu.

Při napařování dopadají částice kovů na povrch substrátu s energií 0,1 ~0,3 eV a tloušťka povlaků v zásadě nepřekračuje hodnotu 5 μ m. Zásadní výhodou této metody je, že probíhá za teplot od 480 do 540°. S těmito teplotami lze nanášet povlaky na různé materiály a to např. oceli, neželezné kovy, sklo, atd.. Z důvodu nízkých teplot nedochází ke změně mechanických vlastností povlakovaného materiálu.

2.7.2. VAKUOVÉ NAPRAŠOVÁNÍ (SPUTTERING)

Vakuové naprašování se dělí na metody:

- Katodové
- Magnetronové



Obr. 2.7-2 Princip vakuového naprašování [17]

Princip vakuového naprašování je zobrazen na obrázku **Obr. 2.7-2**, kde se do komory při tlaku 10^{-2} Pa až 1 Pa přivádí inertní plyn Argon, který ionizuje v doutnavém výboji. Pozitivní ionty bombardují povrch kovové katody, která se tím rozprašuje a rozprašovaný kov kondenzuje na povrchu předmětu a tím vzniká povlak. Přivede-li se současně do vakuové komory reaktivní plyn, tak hovoříme o reaktivní naprašování.

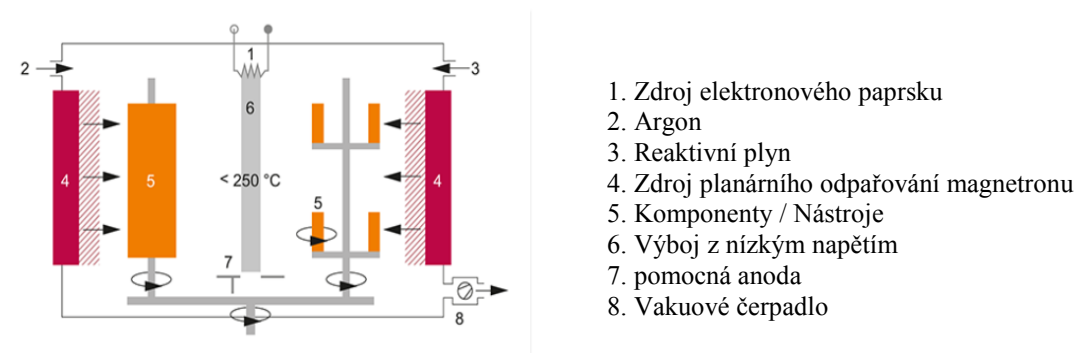
Cílem u tohoto povlakování je zajistit, aby došlo k dostatečné ionizaci par kovů, reaktivního a inertního plynu a rovnoměrné rozdělení iontů v prostoru i na povrchu substrátu. Poměr iontů kovů a plynu určuje složení fází, které vznikají na povrchu substrátu reakcí. Jako iontový zdroj se užívají magnetrony nebo nízkonapěťový oblouk, který se liší energií částic a podílem iontů. [16]

Jeden z nejčastěji takto připravovaných povlaků je TiN, dále je možné i připravovat povlaky (titankarbonitridy, bornitridy a karbonitridy) a to různých kovů s různým procentuálním složením. Tyto sloučeniny vysokotavitelných kovů mají vysokou tvrdost a výbornou otěruvzdornost. Vlastnosti povlaku lze hodnotit, podle složení, přilnavosti, pnutí, mikrostruktury a soudržnosti s podložkou. Technologické parametry mají významný vliv. Za rozhodující se pokládá teplota podložky, parciální tlak plynu a přepětí. Mikrostruktura povlaku je heterogenní, značné pnutí vzniká v místě s podložkou i v objemu povlaku, s rostoucí tloušťkou pnutí roste. Pnutí mohou být tlaková i tahová a při nevhodných podmínkách dosáhnou hodnot 5 až $6 \cdot 10^3$ MPa a způsobit porušení povlaku nebo odtržení od substrátu. Tloušťky povlaků se pohybují od $5\mu\text{m}$ do $10\mu\text{m}$. [16]

Při magnetronovém naprašování dochází ke zvýšení počtu vyražených atomů rozprašovaného materiálu aktivací procesu katodového naprašování. Úprava spočívá v proložení magnetického pole o intenzitě B , jejíž vektor je kolmý na vektor E intenzity elektrického pole. Elektronem emitovaným z katody se pak pohybují po delších a složitějších drahách tím ionizují více atomů pracovního plynu a odprašovací účinnost stoupá. Pracovní tlak uvnitř aparatury se pohybuje zpravidla kolem 1 Pa, takže volná dráha částice je řádově 0,01 m. Pravděpodobnost, že částice urazí vzdálenost l , aniž se srazí s nějakou molekulou plynu a je dána vztahem, kde \bar{l} je střední volná dráha molekul, která je závislá na tlaku v aparatuře. [16]

$$P = \exp\left(-\frac{l}{\bar{l}}\right)$$

Z výše uvedeného vztahu vyplývá, že do vzdálenosti odpovídající čtyřnásobku střední volné dráhy molekul nedoletí bezkolizně již téměř žádná částice, šíří se různými směry a pokrývají i odvrácené strany pokovovaného substrátu. Tím se zvyšuje rovnoměrnost pokrytí povlakem a to i na hranách a šikmo situovaných plochách. Schéma funkce planárního magnetronu je na **Obr. 2.7-3**.



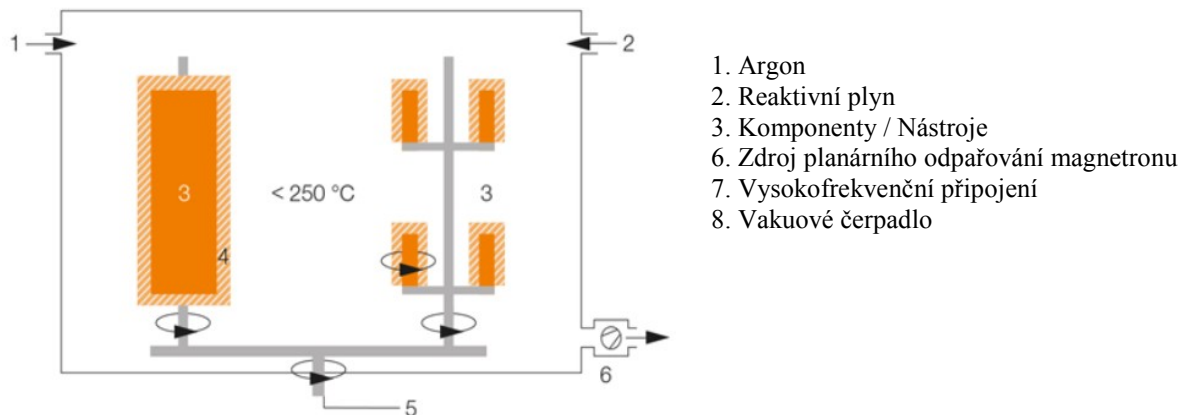
Obr. 2.7-3 Princip vakuového naprašování s magnetronem [17]



Obr. 2.7-4 Princip povlakování s obsahem boru od společnosti SHM [17]

2.7.3. IONTOVÉ PLÁTOVÁNÍ

Iontové plátování je plazmatem aktivovaný proces a nastavení tohoto procesu je obdobné jako u naprašování, které se často používá v kombinaci s CVD. V PACVD se do vakuové komory zavádí plyn obsahující povlakové prvky a zapálí se výboj poháněný střídavým napětím. To vytváří volné atomy uhlíku a vodíku (ionty a radikály), které tvoří hustý povlak na nástrojích a součástech. Vlastnosti nanášení mohou být ovlivněny změnou použitého napětí. Výhodou této metody je vysoká rychlost růstu povlaků, rovnoměrnost jejich tloušťky a adheze substrátu.



Obr. 2.7-4 Iontového plátování [17]

3. NÁVRH OPTIMALIZACE VÝROBY VYBRANÉHO PŘEDSTAVITELE

Prvotní hledisko, díky kterému jsme byli nuceni k optimalizaci výroby, bylo navýšení objednávek na převodovky. Začátkem roku se změnil poměr objednávek z 50% převodovek pro dieselové motory a 50% převodovek pro benzínové motory na 20 % převodovek pro dieselové motory a 80% převodovek pro benzínové motory. Tím bylo vyžadováno značné navýšení výroby komponentů pro benzínová auta a to o 30%. Na linkách, kde dochází k výrobě ozubených kol a výstupních hřídelí, byla výroba aplikována v dvou směnném provozu s CT linek 40s. Na těchto linkách došlo ke změně výroby z dvousměnného provozu na třisměnný provoz. Na lince, kde dochází k výrobě vstupních hřídelí, byla výroba aplikována už dříve ve tří směnném provozu, proto se muselo přistoupit k jinému postupu navýšení výroby na této lince.

Při návrhu optimalizace výrobní linky na hale převodovkárny v závodě HHMC, jsem porovnával možnosti optimalizace tří nejvhodnějších řešení pro dosažení výrobního plánu. Z dosažených dat jsem vybral a aplikoval optimalizaci, která byla nejvhodnější z hlediska návratnosti nákladu na požadovanou optimalizaci. V úvahu připadly tři možnosti na provedení optimalizace linky ZD30BHT pro výrobou vstupních hřídelí:

1. Optimalizace obrážecího stroje LS80 z hledisky produktivity stroje
2. Rozšíření výroby i během víkendových odstávek výrobní linky
3. Dokoupení obrážecího stroje a zakomponování ho do výrobní linky

3.1. POPIS SYSTEMU SNOP STROJE LS80

3.1.1 STROJ

Optimalizace procesů probíhala na stroji Liebherr LS80 vyrobeného v roce 2008. Stroj je zakomponovaný do výrobní linky na výrobu ozubených hřídelí, kde probíhá obrábění zpátečkového kola.



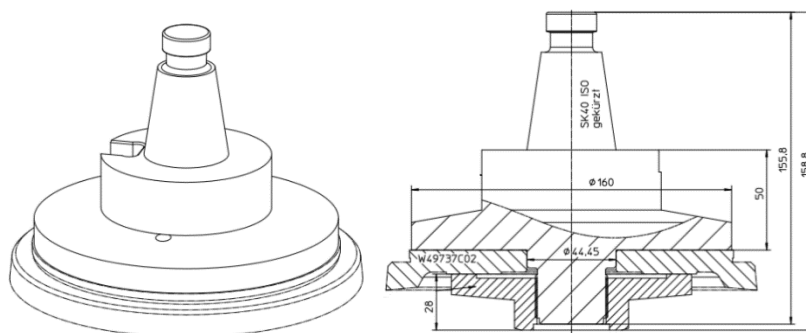
Technické údaje:

Module	3.00 mm
Max. vnější Ø obrobku	80mm
Max. výška obrobku	300mm
Max. výška zdvihu	30.00mm
Max. počet zdvihů	1500DH/min
Max. otáčky obrážecí hlavy	150 1/min
Max. upínací síla	13kN

Obr. 3.1-1 Technické údaje stroje LS80 [19]

3.1.2 NÁSTROJ

Pro optimalizaci jsme použili obrážecí kotoučový nástroj od výrobce DATHAN s povlakem ALTENSA od výrobce BALZERS. Nástroj má úhel čela $\gamma_p = 5^\circ$. Vnější průměr nového nástroje je 188mm.



Obr. 3.1-2 Rozměry obrážecího nástroje v držáku od výrobce DATHAN

3.1.3 OBROBEK

Na **Obr. 3.1-3** je zobrazen model vstupní hřídele šestistupňové převodovky. Na výrobní lince ZD30 BHT se na hřídeli provádí výroba třech rychlostních stupňů a válcování třech evolventních drážkování.

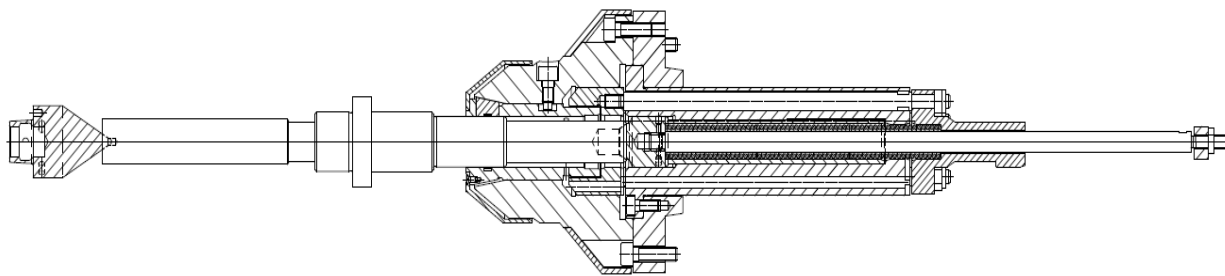


Typ:	Zpátečkové kolo
Modul:	2,6mm
Počet zubů:	11zubů
Materiál:	SCM420HB
Úhel sklonu:	0°
Úhel záběru:	22°
Pevnost v tahu:	700N/mm ²
Ø roztečné kružnice:	26.00mm
Kvalita:	AA DIN1829

Obr. 3.1-3 Model vstupní hřídele šestistupňové převodovky

3.1.4 PŘÍPRAVEK

Přípravek zaručuje dostatečně tuhé upnutí hřídele. Hřídel je vystředěna pomocí koníku a následně upnuta pomocí šesti segmentů, které jsou zatlačovány směrem do upínače pomocí hydraulického táhla. Tato konstrukce je specifická z důvodu, že na stroji probíhá obrábění bez řezného oleje. To zaručuje vysokou přesnost upnutí obrobku a eliminuje, aby se dostávaly nečistoty (špony) do upínacího systému. Hřídele je navedena do upínače a upnuta v jedné třetině své výšky, toto technické řešení značně snižuje ohybový moment, který je vyvíjen nastrojeném. Co zaručuje minimální deformace i při vysokých řezných rychlostech.



Obr. 3.1-4 Upínací přípravek pro vstupní hřídele se středící hřídelí [5]

3.2. ANALÝZA VÝROBY VSTUPNÍCH HŘIDELÍ NA LINCE ZD30BHT

Na **Obr. 3.2-1** je zobrazeno schématické rozložení výrobní linky podle jednotlivých operací, které probíhají na výrobní lince, kde probíhá výroba ozubení před tepelným zpracováním. Jedná se o operace:

1. ZD30-10 Frézování prvního rychlostního stupně
2. ZD30-20 Frézování druhého rychlostního stupně
3. ZD30-30 Obrázení zpátečkového kola
4. ZD30-40/50 Válcování třech evolventních drážkování
5. ZD30-60 Odjehlení a sražení hrany na prvním a druhém rychlostním stupni
6. ZD30-70 Radiální sražení náběhové hrany na zpátečkovém kole
7. ZD30-80 Ševingování prvního rychlostního stupně
8. ZD30-90 Ševingování zpátečkového kola

ZD30 : INPUT SHAFT

ZD30-10	ZD30-20	ZD30-30
HOBGING	HOBGING	SHAPING
LC 80	LC 80	LS 80
FN 0776	FN 0777	FN 6249
CT 28s	CT 31s	CT 78s
LIEBHERR	LIEBHERR	LIEBHERR

ZD30-40/50	ZD30-60	ZD30-70
ROLLING	DEBURRING	R-CHAMFERING
ROLLEX HP	GD217-G00-00	PRG-1NC-FOUR
4700114	GD217	GM-1077
CT 40s	CT 60s	CT 42s
PROFIROLL	WOOSHIN	SANYO

ZD30-90	ZD30-80
SHAVING	SHAVING
GSX-350L-NC4-A	GSX-350L-NC4-A
SX258	SX257
CT 36s	CT 38s
KANZAKI	KANZAKI

Obr. 3.2-1 Schématické rozložení operací výrobní linky ZD30BHT

Z doby cyklu každého stroje lze vidět, že doba obrázení jednoho kusu (CT) zpátečkového kola je nejvyšší a to 78s. V porovnání s ostatními operacemi na této lince, je doba CT o 18s vyšší než je čas druhé nejdelší operace na stroji ZD30-60. Pro porovnání uvádím výrobu ozubených kol na lince ZD50/56 BHT a ZD48/50 BHT, kde se vyrábějí ozubená kola pro 4., 5. a 6. rychlostní stupeň s dobou cyklu 40s a linku ZD30 BHT, kde dochází k výrobě ozubených hřídelí **Obr. 3.2-1**. Tyto linky pro výrobu ozubených kol jsou využívány, jako common line, kde dvě výrobní linky musí pokrýt výrobu třech rychlostních stupňů. Z toho vyplývá výrobní kapacita linky pro jeden rychlostní stupeň s denní výrobou 1400ks.

	ZD50/56 BHT	ZD48/50 BHT	ZD30 BHT
CT linky (s)	40	40	78
Denní výroba (ks)	2160	2160	1107
Požadovaná denní výroba 4. rychlostní stupně (ks)	0	1 400	0
Požadovaná denní výroba 5. rychlostní stupně (ks)	700	700	0
Požadovaná denní výroba 6. rychlostní stupně (ks)	1400	0	0
Požadovaná celková denní výroba (ks)	2100	2100	1400
Rozdíl (ks)	+60	+60	-293

Tab. 3.2-1 Porovnání výrobní kapacity na linkách pro výrobu ozubených kol a vstupních hřídelí

Z tabulky **Tab. 3.2-1**. vyplývá, že denní kapacita na výrobní lince ZD30 BHT je nižší o 293ks, než byla požadována montážní linkou.

3.3. OPTIMALIZACE Z HLEDISKA DOKOUPENÍ OBRÁŽECÍHO STROJE A ZAKOMPOOVÁNÍ HO DO VÝROBNÍ LINKY

Z dat získaných od výrobce obráběcích strojů Liebherr, u kterého jsme poptávali rozšíření výroby z hlediska dokoupení obráběcího stroje, jsme provedli následující kalkulaci **Tab. 3.2-1**, kde jsme provedli celkovou kalkulaci nákladů a kalkulaci nákladů z hlediska pětileté investice. Do těchto nákladů však nejsou zahrnuty náklady na údržbu, energie, atd..

	Stroj LS80	Portálový překladač LP10	Celkem
Pořizovací Náklady (€)	577167	172164	749331
Měsíční náklady při 5 leté investici (€)	9619	2869	12480

Tab. 3.3-1 Kalkulace nákladů na rozšíření linky o obrážecí stroj

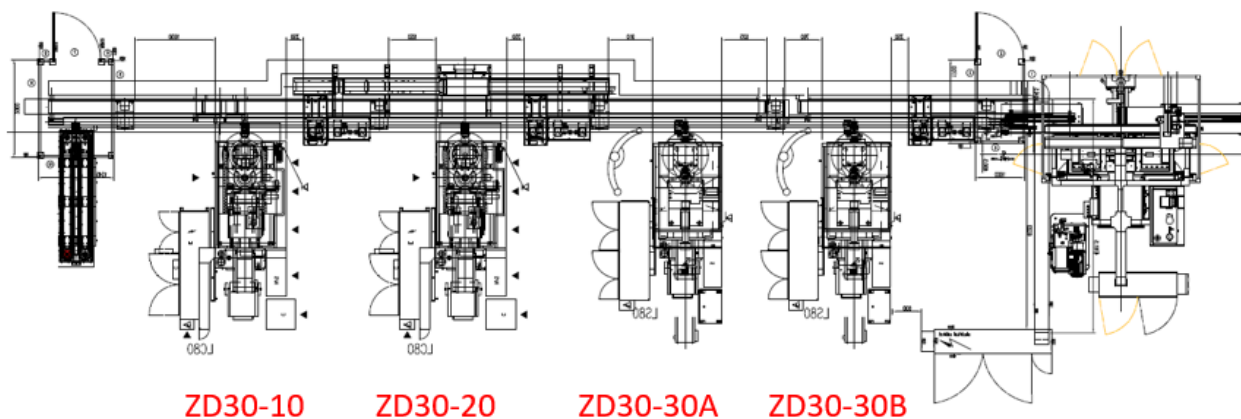
Na **Obr. 3.3-1** je schématicky znázorněná výrobní linka doplněná o druhý obrážecí stroj. Doba cyklu stroje ZD30-30B je stejná s již požívaným strojem ZD30-30A. Stroj bude zařazen do výrobní linky a obrábění na obrážecích strojích bude probíhat současně. Dále je potřeba provést modifikaci portálového nakladače, kde PORTÁLOVÝ PŘEKLADAČ č. 3 **Obr. 3.2-2** bude sloužit současně pro vykládání a nakládání kusů z obou obrážecích strojů **Obr. 3.2-3**.

ZD30 : INPUT SHAFT

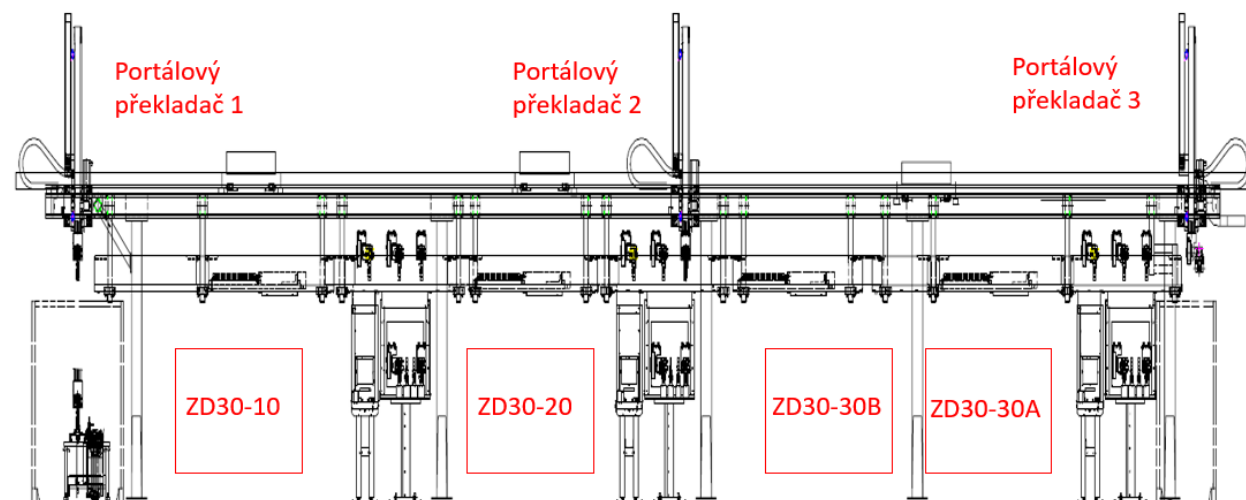
ZD30-10	ZD30-20	ZD30-30A	ZD30-30B	ZD30-40/50	ZD30-60	ZD30-70
HOBGING	HOBGING	SHAPING	SHAPING	ROLLING	DEBURRING	R-CHAMFERING
LC 80	LC 80	LS 80	LS 80	ROLLEX HP	GD217-G00-00	PRG-1NC-FOUR
FN 0776	FN 0777	FN 6249	FN 6249	4700114	GD217	GM-1077
CT 28s	CT 31s	CT 78s	CT 78s	CT 40s	CT 60s	CT 42s
LIEBHERR	LIEBHERR	LIEBHERR	LIEBHERR	PROFIROLL	WOOSHIN	SANYO

ZD30-90	ZD30-80
SHAVING	SHAVING
GSX-350L-NC4-A	GSX-350L-NC4-A
SX258	SX257
CT 36s	CT 38s
KANZAKI	KANZAKI

Obr. 3.3-1 Schématické rozložení výrobní linky doplněné o obrážecí stroj ZD30BHT



Obr. 3.3-2 Schéma zakomponování stroje LS80 do automatizace překladače LP10 [5]



Obr. 3.3-3 Schéma portálového překladače pro stroje Liebherr na lince ZD30BHT [5]

3.4. OPTIMALIZACE Z HLEDISKA NAVÝŠENÍ VÝROBY BĚHEM NEVÝROBNÍCH VÍKENDOVÝCH SMĚN

Pro výpočet optimalizace z hlediska navýšení výroby během nevýrobních víkendových směn jsem kalkuloval s týmem třech operátorů. Jednalo by se o obsluhu stroje, operátora oddělení kvality a operátora údržby. Během čtyřech víkendových směn by bylo potřeba navýšit výrobu o 1465ks, co z hlediska výrobní kapacity linky 369ks za směnu by bylo dostatečné.

	Hodinové náklady (€)	Směnové náklady (€)	Měsíční náklady (€)
Jeden operátor	22,93	183,44	2936
Tři operátoři	68,79	550,52	8808

Tab. 3.4-1 Kalkulace nákladů z hlediska mimořádných výrobních směn

3.5. OPTIMALIZACE OBRÁŽECÍHO STROJE LS80 Z HLEDISKY PRODUKTIVITY STROJE

První krok, který jsem provedl pro optimalizaci z hlediska produktivity stroje, byla modifikace řezných podmínek. Proces obrábění zpátečkového kola je složen ze dvou řezů, první řez je hrubovací s vysokým degresivním radiálním přísuvem a řeznou rychlostí 50m/min a druhý řez s konstantním radiálním posuvem a řeznou rychlostí 60m/min. Limitní hodnoty řezné rychlosti pro stroj LS80 se začaly projevovat při hodnotách nad 75 m/min **Obr. 3.4-1**.

Řezné podmínky	Původní parametry	Aktualizované parametry
	Typ hřídele M5CF1 + M6CF1	Typ hřídele M5CF1 + M6CF1
Řezná rychlost P1	50m/min	62m/min
Radiální posuv, start P1	0.03mm/DS	0.035mm/DS
Radiální posuv, end P1	0.011mm/DS	0.016mm/DS
Rotační posuv P1	0.37mm/DS	0.53mm/DS
Řezná rychlost P2	60m/min	72 m/min
Radiální posuv, start P2	0.01mm/DS	0.014mm/DS
Radiální posuv, end P2	0.01mm/DS	0.014mm/DS
Rotační posuv P2	0.31mm/DS	0.4mm/DS

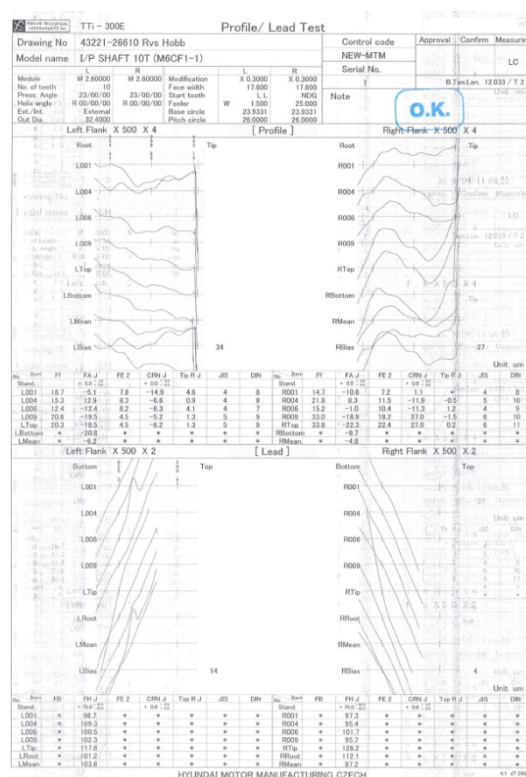
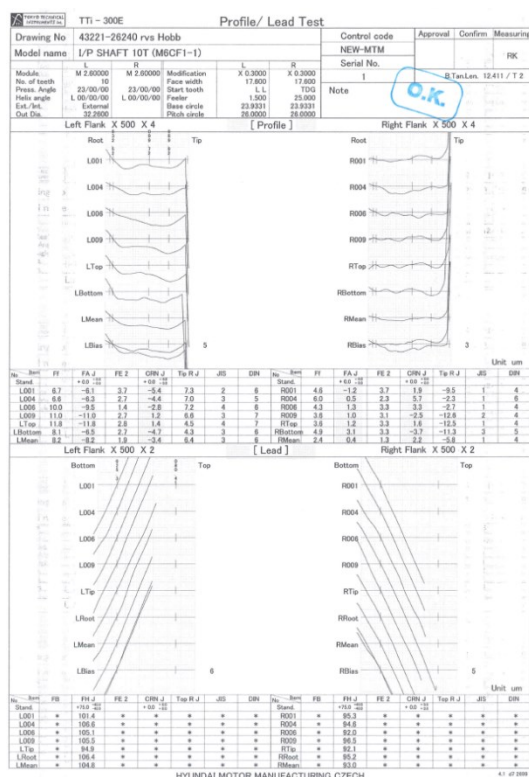
Tab. 3.5-1 Řezné podmínky před a po modifikaci

Tvar a sklon zubů pro řeznou rychlost

Do 70m/min

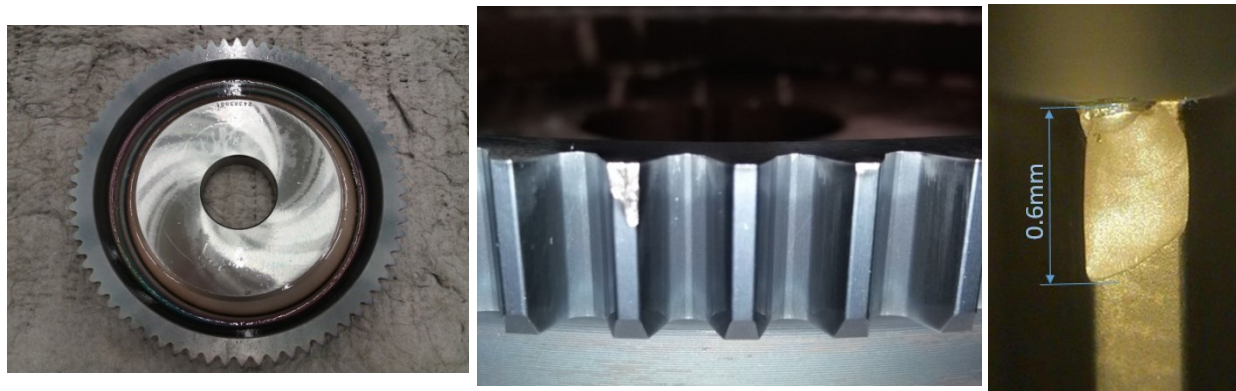
Tvar a sklon zubů pro řeznou rychlost

nad 75m/min



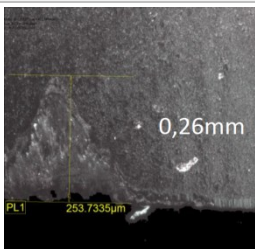
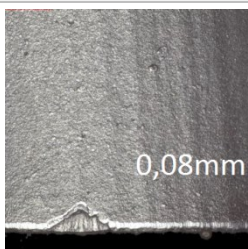
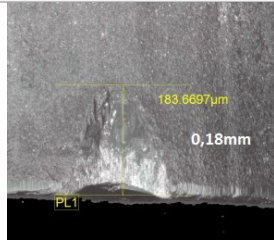
Obr. 3.5-1 Tvar a sklon zubů pro řeznou rychlost 70m/min a 75m/min

Dále jsme pokračovali s modifikací radiálního a rotačního posuvu. Při hodnotách rotačního posuvu v prvním řezu 0,53mm/DS a degresivním radiální posuvu, který začíná na hodnotách 0.035mm/DS a končí na hodnotách 0.016mm/DS se značně projevilo opotřebení nástroje na hřbetě a to bez lineární závislosti na počtu vyrobených kusů **Obr. 3.4-2**.



Obr. 3.5-2 Opotřebení kotoučového nože při změně posuvů po vyrobení 1429ks

Z tohoto důvodu jsme začali s testováním nových povlaků. Místo původního povlaku ALCRONAPRO jsme provedli testy s povlaky ALTENSA (AlCrN) od výrobce BALZERS PL a BIGAAN (CrAlBN) od výrobce SHM. Při vyhodnocení testu nejlépe vyšel povlak ALTENSA od společnosti BALZERS, kde po optimalizaci procesních podmínek jsme mohli zachovat původní nastavenou životnost nástroje 2600 ks, s maximální hodnotou opotřebení do 0,1 mm při celé životnosti nástroje **Tab. 3.5-2**.

	BALZERS	BALZERS	SHM
Typ povlaků	ALCRONA PRO	ALTENSA	BIGAAN
Chemické složení	AlCrN monolayer	AlCrN multilayer	AlCr(B)N
Technologie	ARC EVAPORATION	ARC EVAPORATION	ARC + MAGNETRON
Opotřebení po 2600ks			
Cena povlaku/ks [Euro]	50	55	58

Tab. 3.5-2 Porovnání opotřebení s různými typy povlaků

V **Tab. 3.5-2** je uvedeno Porovnání povlaků od výrobce BALZERS a to ALCRONA PRO a ALTENSA. Díky technologii vícevrstvého nanášení vykazuje povlak ALTENSA lepších výsledků.

BALINIT®	Coating material Coating structure	Coating hardness H _{IT} (GPa)	Residual stresses	Available coating thicknesses (μm)	Maximum application temperature (°C)	Suitable substrates	Coating colour
ALCRONA PRO	AlCrN-based Monolayer	36 +/-3	-3 +/-1	application-related	1,100	HSS, PM-HSS, Carbide	light grey
ALTENSA	AlCrN-based Multilayer	40 +/-3	-4 +/-1		>1,100	HSS, PM-HSS, Carbide	light grey

Tab. 3.5-3 Porovnání povlaků od výrobce BALZERS

Při kalkulaci nákladů při optimalizaci řezných podmínek došlo pouze k navýšení ceny za povlakování nástroje. Při měsíční výrobní kapacitě linky 30 800 ks a stanovené životnosti nástroje se měsíční náklady navýší o 60 Euro **Tab. 3.5-3**.

	ZD30 BHT LS80
Denní výroba (ks)	1400
Měsíční výroba (ks)	30800
Náklady na povlak (€)	55
Navýšení nákladů na povlak proti původní technologii (€)	5
Počet vyrobených kusů na jedno přebroušení nástroje (ks)	2600
Celkové navýšení nákladů (€)	60

Tab. 3.5-3 Výpočet nákladu při optimalizaci řezných podmínek

4. TECHNICKO EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

4.1. TECHNICKÉ ZHODNOCENÍ

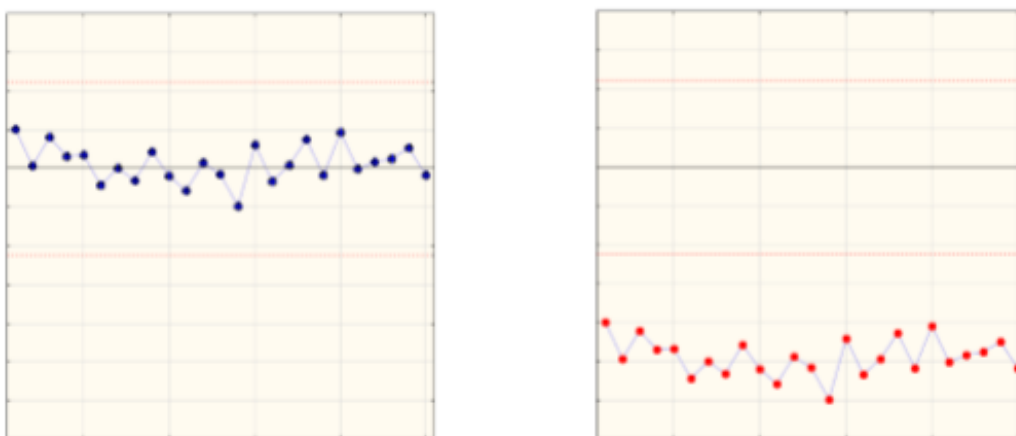
Index způsobilosti Cp

Index C_p je nejzákladnější a nejpřímější indikátor způsobilosti procesu. Jednoduše porovnáváme skutečnou variabilitu procesu (naměřených dat) vůči variabilitě povolené specifikacemi. Skutečný rozsah (jmenovatel) je vyjádřen šestinásobkem odhadnuté směrodatné odchylky - šestinásobek jednoduše proto, že specifikační meze byly také stanoveny jako šestkrát teoretická variabilita (viz předpoklad na specifikační meze výše). Čitatel ve vzorci je tedy jinak řečeno 6 krát teoretická variabilita.

C_p je tedy definován jako poměr specifičního rozsahu a reálný rozsahu procesu. Tento index se dá vyjádřit jako:

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6s}$$

Kde LSL a USL je dolní a horní specifiční mez, s je odhad směrodatné odchylky vypočítaný z naměřených hodnot. Volně řečeno, tento index vyjadřuje, jak se nám liší skutečný a povolený rozptyl dat. Hodnoty menší než 1 značí nízkou způsobilost, hodnoty nad 1 značí, že proces se chová lépe než předepsaný. V praxi se používá žebříček: nezpůsobilost (menší než 1), střední způsobilost (mezi 1 a 1,3) a vysoká způsobilost (větší než 1,3). Je potřeba si uvědomit, že předchozí index nezachycuje neshodu střední hodnoty sledovaného procesu s předepsanou (nominální) hodnotou. Na obrázcích níže s vývojem procesu v čase můžete vidět dvě situace se stejným indexem C_p , ale jeden z nich je mimo specifiční meze a jistě by žádného odběratele nenadchl. Aby byla zachycená do hodnocení i poloha procesu, byl zaveden další index, který se běžně značí C_{pk} . [20]

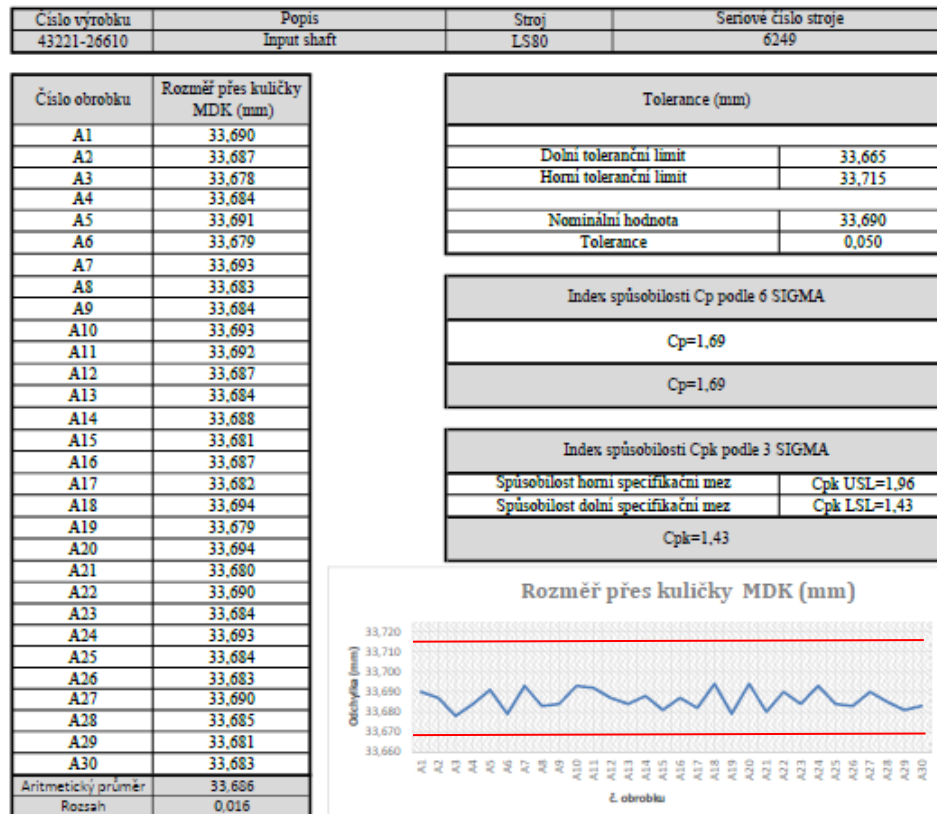


Obr. 4.1-1 Vývoj procesu v čase se stejným indexem C_p [20]

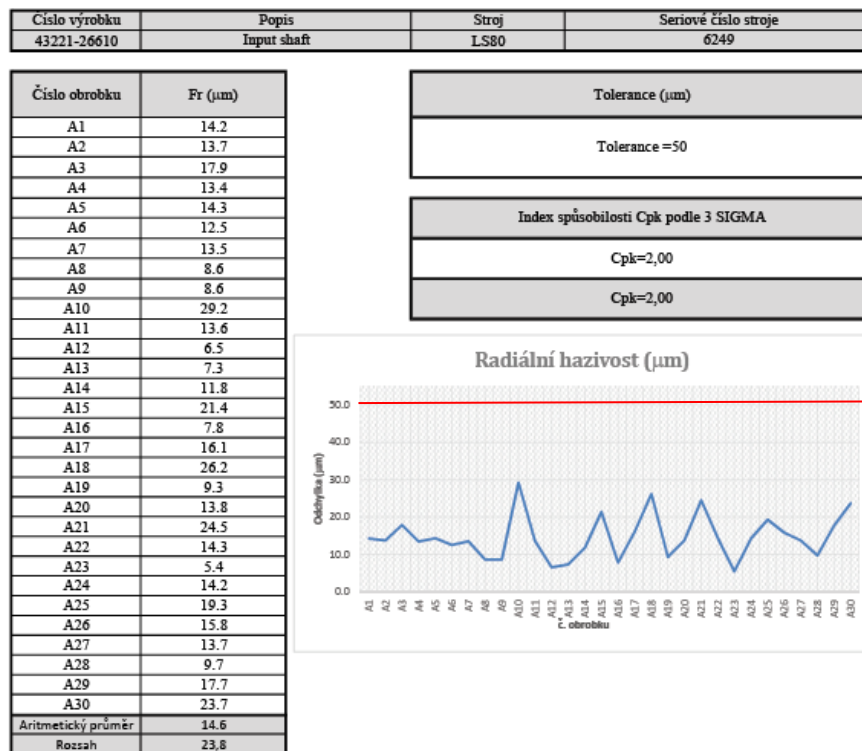
Index způsobilosti C_{pk}

$$C_{pk} = \frac{\min(USL - \bar{x}; \bar{x} - LSL)}{3s}$$

Úpravou indexu C_p můžeme získat index C_{pk} , který penalizuje i za to, že proces není vycentrován. Uvedený vzorec se skládá ze dvou částí: způsobilost dodržet horní specifiční mez a způsobilost dodržet dolní specifiční mez. Za výslednou hodnotu indexu C_{pk} považujeme menší z obou dílčích výsledků (tedy horší scénář). Ve vzorci je trojnásobek odhadu směrodatné odchylky, neboť se díváme vždy na vzdálenost meze od středu, což je při vycentrování polovina rozsahu. Tento index nás informuje o způsobilosti procesu při aktuálním seřízení výrobního zařízení. Pokud je proces vycentrován, pak je shodné s C_{pk} . Pokud se ovšem proces vzdálí od nominální hodnoty, pak je vždy C_{pk} menší než C_p . [20]



Obr. 4.1-2 Statistické vyhodnocení rozměru přes kuličky MDK



Obr. 4.1-3 Statistické vyhodnocení hřízlosti ozubení Fr

Z technického hlediska jsem provedl statistické vyhodnocení procesu z hlediska stability **Obr. 4.1-2** a **Obr. 4.1-3**. Kde indexy způsobilosti C_{pk} vykazují, že je proces stabilní i po úpravě řezných parametrů. V sériové výrobě je toto statistické hledisko velmi důležité, protože operátor obsluhující stroj provádí kontrolní měření MDK a Fr co 20min.

4.2. EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

V bakalářské práci jsem porovnával optimalizaci podle třech kritérií. Cílem bylo dosažení co největší produktivity linky s co nejnižšími výrobními náklady. Tomu kritériu nejlépe odpovídala optimalizace procesu **Tab. 4.2-1**.

	Optimalizace z hlediska		
	1. Dokoupení stroje	2. Rozšíření výroby	3. Optimalizace procesu
Celkové měsíční náklady (€)	12480	8808	60

Tab. 4.2-1 Porovnání optimalizace z ekonomického hlediska

	Porovnání na základě CT	
	CT 78 s	CT 60 s
Směnová produkce linky (ks)	369	480
Denní produkce (ks)	1107	1440
Měsíční produkce při 22 pracovních dnech	24354	31680
Požadovaná měsíční produkce (ks)	30800	
Počet směn pro dosažení normy	84	65
Počet volných (ztrátových) směn za měsíc	-19	19
Náklady na operátora/hodinu (€)	22,93	
Náklady na operátora/směnu (€)	183,44	
Celková úspora nákladů/měsíc (€)	0	3485

Tab. 4.2-1 Výpočet úspory nákladů při zachování měsíční výroby 30800 ks

Dále jsem provedl výpočet úspory nákladů, kdy jsem porovnával úsporu na základě CT. Ten byl původně 78s a po optimalizaci procesů 60s. Celkové náklady na výrobu na lince ZD30 BHT jsou uvedeny v COST CENTRECH v interní dokumentaci HMMC. Tyto náklady jsou propočítány na 6 € za minutu. Protože ale nejde konstatovat, že v případě nadkapacitní výroby by bylo možno využít tuto linku pro jiné účely a tím snížit celkové náklady na výrobu na této

lince, lze pouze počítat s odstavením linky a úspory z hlediska obsluhy. Tento výpočet je uveden v tabulce *Tab. 4.2-2*.

5. ZÁVĚR

Bakalářská práce byla zaměřená na optimalizaci procesních parametrů při obrážení přímého ozubení zpátečkového kola na vstupních hřídelích na výrobní lince ZD30 BHT ve výrobním závodě HMMC na hale převodovkárny. Porovnával jsem tři možnosti optimalizace z hlediska dokoupení stroje, výroby během nevýrobních směn a optimalizace procesních parametrů. Cílem bylo dosažení výrobního plánu na základě co nejnižších provozních nákladů s udržení vysoké stability procesu v sériové výrobě. Z hlediska optimalizace procesu jsem prováděl testování limitních hodnot řezné rychlosti pro obrážecí stroj Liebherr LS80, kde poslední akceptovatelné výsledky byly dosaženy při řezné rychlosti 72m/min, co odpovídá 945 zdvihů za minutu a to s vysokým rotačním a radiálním degresivním posuvem v prvním řezu a konstantním posuvem v řezu druhém. Dále jsem prováděl testování nových povlaků obrážecího nástroje, kde jsem porovnával povlaky ALTENSA a ALCRONA PRO od výrobce BALZERS s povlakem BIGAAN od společnosti SHM. Při testování povlaků, během celé životnosti nástroje, již už s modifikovanými řeznými podmínkami, byl výsledek opotřebení nejnižší u povlaků ALTENSA od výrobce BALZERS. Maximální hodnoty opotřebení špičky nástroje dosahovaly hodnot do 0,1mm při stanovené životnosti 2600 ks.

Chceme-li dosáhnout kvalitní sériové výroby v automobilovém průmyslu, je nutné udržovat vysokou stabilitu procesu během celé životnosti výrobního stroje. Toto statické vyhodnocení se provádí nejenom při uvádění stroje do provozu výrobcem, ale i při zásahu do jednoho z dílčích prvků soustavy SNOP. Stabilitu procesu jsem určil z indexu způsobilosti C_{pk} , který jsem vypočetl pro nejčastěji kontrolované rozměry u ozubených kol. Jedná se o rozměr přes kuličky MDK a radiální házivost F_r . Výsledky vykazují vysokou stabilitu procesu, kdy hodnota C_{pk} u rozměrů přes kuličky vyšla 1,43 pro dolní specifikační mez. Tato hodnota byla nižší hodnotou, než u horní specifikační meze, proto jí můžeme brát jako výslednou hodnotu. U radiálního házení nám index způsobilosti vyšel dostatečně vysoký a to $C_{pk} = 2,00$. Ze statistického hlediska můžu konstatovat, že je proces dostatečně stabilní, kdy výsledné hodnoty jsou vyšší než stanovená mez $C_{pk} > 1,3$, a tato mez je limitní při určování vysoké stability procesu.

V poslední části bakalářské práce jsem prováděl ekonomické zhodnocení optimalizace procesu v závislosti na co největší produktivitě linky s najnižšími výrobními náklady. Z hlediska produktivity se mi podařilo dosáhnout snížení doby cyklu linky, kde jsem začínal na 78s a po provedení optimalizace procesu jsem se dostal na hodnotu 60s. Celkové náklady na výrobu na lince ZD30 BHT jsou uvedeny v COST CENTRECH v interní dokumentaci HMMC. Tyto náklady jsou propočítány na 6 € za minutu. Protože ale nejde konstatovat, že v případě nadkapacitní výroby by bylo možno využít tuto linku i pro jiné účely a tím snížit celkové náklady na výrobu na této lince, lze pouze počítat s odstavením linky a úspory z hlediska obsluhy. Kde celková úspora dosahuje při CT 60s 3485 Euro/měsíc.

6. POUŽITÁ LITERATURA

- [1] BRYCHTA, Josef; ČEP, Robert; NOVÁKOVÁ, Jana; PETŘKOVSKÁ, Lenka. *Technologie II – 1. díl*. Ostrava : Ediční středisko VŠB – TU Ostrava, 2007, 126 s. ISBN 978–80–248–1641–8.
- [2] BRYCHTA, Josef; ČEP, Robert; NOVÁKOVÁ, Jana; PETŘKOVSKÁ, Lenka. *Technologie II – 2. díl*. Ostrava : Ediční středisko VŠB – TU Ostrava, 2008, 150 s. ISBN 978–80–248–1822–1.
- [3] MRKVICA, M. *Přípravky a obráběcí nástroje: I. díl, Řezné nástroje*. Ostrava : Ediční středisko VŠB Technická univerzita Ostrava. 2006. ISBN 80–7078–941–7.
- [4] NESLUŠAN, Miroslav; TUREK, Stanislav; BRYCHTA, Josef; ČEP, Robert; TABAČEK, Marián. *Experimentálne metódy v trieskovom obrábaní*. Žilina : EDIS Žilina, 2007. 343 s. ISBN 978–80–8070–711–8.
- [5] Interní dokumentace společnosti Hyundai Motor Manufacturing Czech s.r.o.
- [6] MOMPER, Friedrich; Gear Training Hyundai July 2016, GLEASON
- [7] MRKVICA, Ivan. *Současné trendy v obrábění ozubených kol: učební text*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2011. ISBN 97880-248-2724-7
- [8] *Liebherr Prospektmaterial Liebherr Verzahntechnik GmbH*, 2001.
- [9] FELTEN, K und BERENDS, P. CNC-Steuerung optimiert Wälzstoßen, *Werkstatt und Betrieb*, 121 (1988) 6, S. 509-511.
- [10] MECHANICS GENERATING GEAR SHAPER Typ_LS-SK, Verzahntechnik GmbH, 2007, S. 29-31
- [11] BERENDS, P. CNC-Wälzstoßen erschließt neue Verfahrensmöglichkeiten, *Werkstatt und Betrieb*, 122 (1989) 9, S. 774-778.
- [12] FELTEN, K und BERENDS, P. Optimales Wälzstoßen, *Werkstatt und Betrieb*, 121 (1988) 4, S. 301-304.
- [13] The Gear-Shaping Machine LS 80 – 180, Liebherr-Verzahntechnik GmbH, 2018
- [14] Gear Shaping Machines LS 80 – 180 E with electronic helical guide, Liebherr-Verzahntechnik GmbH, 2018
- [15] Gear-Shaping Machines LS 80 – 180 F, Liebherr-Verzahntechnik GmbH, 2018
- [16] MOHYLA, M.: *Technologie povrchových úprav kovů*. VŠB - TU Ostrava, Ostrava, 1994.

- [17] <https://www.oerlikon.com/balzers/cz/cs/portfolio/surface-technologies/pvd-based-processes/arc-evaporation/>
- [18] PŘEDSTAVENÍ firmy SHM, BIGAAN - NOVINKA V NABÍDCE POVLAKŮ SHM
- [19] The Gear-Shaping Machine LS 80, Návod k provozu LS80, Liebherr-Verzahntechnik GmbH, 2011
- [20]http://www.statsoft.cz/file1/PDF/newsletter/13_08_07_StatSoft_Analyza_zpusobilosti_procesu.pdf

Poděkování

Rád bych poděkoval prof. Ing. Robertu Čepovi, Ph.D. za odbornou pomoc a konzultaci při vytváření této bakalářské práce.